

разрешение –  $4 \text{ см}^{-1}$ . Также был проведен РФА на установке Rigaku MiniFlex 600 при следующем режиме: материал анода – медь, излучение  $\text{CuK}_\alpha$  с длиной волны  $1.541862 \text{ \AA}$ , диапазон съемки от  $3^\circ$  до  $90^\circ$ , шаг  $0,02^\circ$ , скорость сканирования  $10 / \text{мин}$ . Для изучения полученной керамики с помощью настольный СЭМ Phenom с EDX модулем получены изображений высокого разрешения.

Данных РФА хорошо позывает наличие двух фаз на основе твердого раствора  $\text{AgBr} - \text{AgI}$  и диоксида церия, при этом параметры решетки обеих фаз отклоняются от референсных значений, что может говорить об образовании оксигалогенидных комплексов. Средний размер зерен диоксида церия на микрофотографиях поверхности находится в диапазоне  $0.5\text{--}2 \text{ мкм}$ . На ИК спектрах присутствуют характерные для диоксида церия пики поглощения на  $3400$ ,  $1630$ ,  $1518$ ,  $1350 \text{ см}^{-1}$ , однако отсутствуют пики на  $1053$  и  $848 \text{ см}^{-1}$ . Общий уровень пропускания остался на прежнем уровне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>

## **Оптические монокристаллы и нанокристаллическая керамика на основе системы $\text{AgBr} - \text{AgI} - \text{TlI}$**

*А.Е. Львов, Д.А. Белоусов, Д. Д. Салимгареев, Л. В. Жукова,*

*А. А. Южакова, Д. В. Шатунова*

(Уральский Федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина, [l.v.zhukova@urfu.ru](mailto:l.v.zhukova@urfu.ru))

Данная работа направлена на создание новых монокристаллов и нанокристаллической керамики на основе системы  $\text{AgBr} - \text{AgI} - \text{TlI}$ , соединяющих различные кристаллические фазы, прозрачной от  $65$  до  $75 \%$  и имеющей диапазон спектрального пропускания от  $0,5$  до  $47,0\text{--}67,0 \text{ мкм}$ , в зависимости от системы и состава, а также в терагерцовой и миллиметровой областях спектра, с высокими функциональными характеристиками. Предлагаемые монокристаллы и керамика способна отвечать всем требованиям к оптическим материалам, необходимым для развития фотоники, лазерной физики и волоконной оптики, поскольку обладает всем спектром функциональных свойств.

**Ключевые слова:** оптические материалы, монокристаллы, керамика, галогениды серебра, галогениды таллия

This work is aimed at creating new single crystals and nanocrystalline ceramics based on the

AgBr – AgI – TII system, connecting various crystalline phases, transparent from 65 to 75% and having a spectral transmission range from 0.5 to 47.0–67.0  $\mu\text{m}$ , in depending on the system and composition, as well as in the terahertz and millimeter regions of the spectrum, with high functional characteristics. The offered single crystals and ceramics are capable of meeting all the requirements for optical materials necessary for the development of photonics, laser physics and fiber optics, since it has the entire spectrum of functional properties.

**Keywords:** optical materials, single crystals, ceramics, silverhalides, thalliumhalides

На сегодняшний день активно развиваются материалы для создания оптических элементов для лазерных источников и преобразователей в среднем, дальнем и сверхдальнем ИК диапазонах, а также в ТГц диапазоне частот. Данные материалы и изделия на их основе представляют большой интерес для научных и технологических применений. В настоящее время одним из перспективных материалов, способных решить представленные проблемы, являются монокристаллы и нанокристаллическая керамика на основе двух и более твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия. Это обусловлено спектральным пропусканием, которое в зависимости от состава охватывает широкий спектральный диапазон от 0.5 до 47.0–65.0 мкм без окон поглощения. Кроме того, эти материалы прозрачны в терагерцовом и миллиметровом диапазонах [1]. Данные материалы обладают низким коэффициентом поглощения от  $10^{-5}$  до  $10^{-3} \text{ см}^{-1}$  (для кристаллов и керамики) и оптическими потерями 0.1–0.5 дБ/м (для световодов). Керамика на основе двух и более твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия может соединять различные кристаллические фазы регулируемого состава, обладающих различными физико-химическими свойствами. Использование сложного состава таких композитных сред позволяет получить в одном материале несколько функциональных свойств. В рамках работы были исследованы фазовые переходы в трехкомпонентной системе AgBr – AgI – TII. Были подтверждены области составов, в которых возможно получение, как монокристаллов со структурой (Fm3m или Pm3m), так и нанокристаллической керамики на основе двух и более твердых растворов (Fm3m или Pm3m, R-3, P63mc). Монокристаллы со структурой Fm3m возможно получать в диапазоне составов 0–32 мас. % (TII, AgI) в AgBr. Монокристаллы со структурой Pm3m возможно получать в диапазоне составов 0–20 мас. % AgBr и 0–10 мас. %

AgI в TII. Керамику на основе двух и более твердых растворов со структурными типами Fm3m, R-3 и P6<sub>3</sub>mc возможно получать в диапазоне составов 0–40 мас. % (TII, AgI) в AgBr. Керамику на основе двух и более твердых растворов со структурными типами Pm3m, R-3 и P6<sub>3</sub>mc возможно получать в диапазоне составов 0–32 мас. % (TII, AgI) в AgBr.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10108, <https://rscf.ru/project/21-73-10108/>

1 Zhukova L. et al. The optical transparency investigation of crystals based on the AgHal – TlHal solid solutions systems in the terahertz range. // Opt. Mat. 2021. V. 113. P.110870.

### **Научно-прикладной модифицированный метод термозонной кристаллизации синтеза высокочистых твердых растворов различного состава**

*В. М. Кондрашин, А. Е. Львов, Д. Д. Салимгареев, А. А. Южакова, Л. В. Жукова*

(Уральский Федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина, l.v.zhukova@urfu.ru)

В данной работе представлен усовершенствованный метод термозонной кристаллизации-синтеза, применяемый для очистки и синтеза сырья – шихты для производства керамики и кристаллов на основе галогенидов серебра. При модификации метода использовались научно-прикладные подходы, связанные как с изменениями в составе химических реактивов при проведении синтеза-очистки, так и с усовершенствованием реактора. Были достигнуты высокие результаты в очистке шихты: содержание примесей составило 0,0001 мас. % и менее, выполнен синтез оптических материалов на основе твердых растворов галогенидов серебра различных систем, таких как оптическая керамика. Описаны перспективы применения данных материалов в различных областях науки и техники, таких как лазерные технологии.

**Ключевые слова:** инфракрасная керамика, оптическая керамика, галогениды серебра

In this work, the method of thermal-zone crystallization-synthesis is improved, which is used for theraw material purification and synthesis used to produce ceramics based on silver halides. When modifying the method, applied-scientific approaches were used, associated both with changes in the composition of chemical reagents during synthesis and purification, and with thereactor improvement. High results were achieved in cleaning the raw materials: theimpurities content was 0.0001 wt. % and less.The optical materials based on silver halides solid solutions has been performed. The prospects for the application in laser technology, are described.

**Keywords:** infrared ceramics, optical ceramics, silver halides

Керамика на основе твердых растворов систем TlBr<sub>0.46</sub>I<sub>0.54</sub> – AgI, TlCl<sub>0.7</sub>Br<sub>0.3</sub>